

ZnO memiliki celah pita 3,37 eV, dengan energi eksiton ikatannya sebesar 60 meV. Tingginya energi eksiton ikatan

nanopartikel ZnO memungkinkan eksiton efisien dalam suhu kamar.^[3]

Partikel ZnO dalam ukuran besar memiliki beberapa kelemahan seperti luas permukaan per volume yang kecil dan celah pita energi yang kurang sesuai apabila diaplikasikan pada cahaya tampak.^[4] Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan sifat dari ZnO maka perlu dilakukan pendopingan.

Doping merupakan sebuah proses penyisipan atom lain ke dalam semikonduktor. Doping dapat memberikan pengaruh besar terhadap konduktivitas bahan semikonduktor.^[5] ZnO memiliki 2 tipe karakteristik yaitu tipe-p dan tipe-n. Material doping untuk ZnO tipe-p antara lain kalium^[6], litium, tembaga, fosfor dan arsen^[7] sedangkan material doping untuk ZnO tipe-n antara lain boron, aluminium dan fluorin.^[8]

Kebanyakan material ZnO tipe-n dalam struktur luar elektronik, konduktivitas Cu sangat tinggi dan murah serta banyak tersedia di kerak bumi sehingga terpilih sebagai dopan dalam ZnO.

Labhane, dkk (2015)^[10] melakukan penelitian dengan menggunakan dopan Cu yang mana hasilnya menunjukkan penggantian ion Cu dengan Zn telah berhasil dengan meningkatkan konsentrasi Cu. Liu, Lian Hui, dkk (2012)^[11] juga menjelaskan bahwa struktur dan sifat dari ZnO yang didoping dengan Cu telah diteliti dan dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan hasilnya menunjukkan sampel mempunyai struktur *hexagonal wurtzite*.

Berbagai teknik yang digunakan untuk sintesis nanopartikel ZnO dalam hal ini, peneliti menggunakan metoda sol gel karena metoda sol gel merupakan proses pembentukan senyawa anorganik

melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel).^[13]

Teknik sol gel lebih umum digunakan dalam sintesis nanopartikel dan memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut : berdasarkan produk yang dihasilkan dengan proses sol-gel diperoleh homogenitas yang lebih baik, kemurnian tinggi dan proses pembentukan kristalinitas cepat. Berdasarkan energi yang digunakan, teknik sol-gel dapat berlangsung pada suhu rendah. Oleh karena reaksi berlangsung pada suhu rendah, fasa pemisahan dan proses pembentukan kristal lebih cepat maka dari segi biaya operasional pada proses sol-gel cukup ekonomis. Dari segi lingkungan proses sol-gel termasuk ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan cukup rendah.^[14]

Seterai nanopartikel selesai disintesis dilakukan 4 macam karakterisasi, yaitu dengan menggunakan FT-IR (*Fourier Transform-Infra Red*), Spektroskopi XRD (*X-Ray Diffraction Spectroscopy*), UV-Diffuse Reflektansi, dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi ikatan yang terbentuk antara ZnO dengan dopan Cu²⁺ melalui spektra FTIR, menentukan nilai *band gap* ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺, mengidentifikasi struktur dan ukuran partikel dengan difraksi sinar-X menggunakan XRD, menjelaskan morfologi permukaan ZnO *doped* Cu²⁺ yang dikarakterisasi menggunakan SEM.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan

Peralatan yang dibutuhkan untuk mensintesis nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ adalah peralatan gelas, *magnetic Stirrer* (Merk ATE VELP Scientifica Magnetic Stirrer) *stirrer bar*, cawan porselen, neraca analitik analitik (Merk Precisa XT 220 A), oven (Oven France Etuves XU 225) dan *furnace* (NEYCRAFT). XRD (pANalytical X-Pert³ Material Research Diffractometer) digunakan untuk menentukan stuktur kristalinitas dan ukuran nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺. FTIR (PerkinElmer Frontier Optical) digunakan untuk melihat gugus fungsi ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺. SEM digunakan untuk menentukan morfologi permukaan nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺. UV-DRS digunakan untuk menentukan *band gap*.

Bahan-bahan yang digunakan antara lain: zink (II) asetat dihidrat Zn(CH₃COO)₂·2H₂O, copper (II) asetat monohidrat Cu(CH₃COO)₂·H₂O, isopropanol, *monoethanolamin* (MEA) (bahan yang digunakan dari merck).

Sintesis ZnO Undoped Melalui Metoda Sol-Gel

Zink (II) asetat dihidrat Zn(CH₃COO)₂·2H₂O sebanyak 2,7437 gram dilarutkan dengan 50 mL isopropanol ke dalam gelas kimia 100 mL, dan ditutup dengan aluminium foil, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Setelah itu ditambahkan MEA sebanyak 1,4 mL dan pengadukan dilanjutkan 90 menit dihasilkan sol. Didiamkan satu malam, sol yang didapatkan dimasukkan kedalam cawan penguap, dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Gel yang terbentuk dimasukkan kedalam *furnace*, dipanaskan pada suhu 500°C selama 2 jam. Produk yang terbentuk disimpan dalam desikator, didiamkan, dan digerus menggunakan lumpang dan alu. Produk

tersebut yang akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, UV-DRS, dan XRD.

Sintesis ZnO doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel

Zink (II) asetat dihidrat Zn(CH₃COO)₂·2H₂O sebanyak 2,743 gram dilarutkan dengan 50 mL isopropanol dalam gelas kimia 100 mL, dan ditutup dengan aluminium foil. Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Ditambahkan tembaga (II) asetat monohidrat

Cu(CH₃COO)₂·H₂O sebanyak 0,0885 gram untuk konsentrasi 3 %, ditutup lagi dengan aluminium foil dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Setelah itu ditambahkan MEA sebanyak 1,4 mL dan pengadukan dilanjutkan selama 90 menit dihasilkan sol. Sol didiamkan satu malam, setelah itu dimasukkan kedalam cawan penguap, dikeringkan didalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Gel yang terbentuk dimasukkan kedalam *furnace*, dipanaskan pada suhu 500°C selama 2 jam. Produk yang terbentuk disimpan dalam desikator, dan digerus. Produk tersebut yang akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, UV-DRS, XRD, dan SEM.

Karakterisasi ZnO undoped dan doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel

Analisis Gugus Fungsi ZnO *Doped* Cu²⁺ dengan FTIR Analisis gugus fungsi nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR. Sampel yang akan dianalisis berupa produk akhir dari sintesis ZnO *doped* Cu²⁺ melalui metoda sol-gel berupa *powder*. Pengujian pada sampel dilakukan dengan *sample holder* alat FTIR dibilas menggunakan metanol. Selanjutnya, pada program yang ada

dilayar monitor masukkan nama sampel yang akan dianalisis. Pada program tersebut pilihan “background” dikosongkan, sehingga sampel dapat diletakkan pada *sample holder*, menu *scan* dipilih untuk

Analisis ukuran partikel dan struktur kristal nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD, menggunakan pAnalytical X-Pert3 Material Research Diffractometer yang dilakukan di Laboratorium Fisika, FMIPA, UNP. Spektrum hasil pengukuran berupa puncak-puncak difraksi dari bidang-bidang difraksi pada posisi 2 untuk setiap orientasi yang hadir pada nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺.

2. Analisis nilai celah pita ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ dengan UV-DRS

Analisis nilai celah pita nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ dilakukan dengan menggunakan instrumen UV-DRS yang dilakukan di Laboratorium Kimia, FMIPA, UNP. Material yang telah disintesis dapat diketahui besarnya energi celah pita dengan menggunakan metoda spektrofotometri UV-DRS. Energi celah pita diperoleh dengan mengubah besaran %R ke dalam faktor *Kubelka-Munk* ($F(R)$)).

3. Analisis ukuran partikel dan struktur kristal nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ dengan XRD

Kurva hasil pengukuran XRD berupa puncak-puncak difraksi pada posisi 2 yang mewakili bidang-bidang difraksi pada arah tertentu dapat diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Material Analysis Using Diffraction (MAUD)* yang dikembangkan oleh Luca Lutterotti yang dapat memberikan

informasi tentang struktur fase-fase kristal yang mungkin hadir, pada nilai parameter kisi a, b, dan c.^[16]

4. Analisis morfologi permukaan ZnO *doped* Cu²⁺ dengan SEM

Analisis morfologi permukaan nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ dilakukan dengan menggunakan instrumen SEM yang dilakukan di Fakultas Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta. Prinsip pengoperasian SEM yaitu berkas elektron yang difokuskan, discan menyilang pada permukaan sampel, kemudian menghasilkan elektron sekunder, elektron kembali dihamburkan dan dikarakterisasi sinar-X. *Signal* itu dapat dideteksi oleh detektor untuk membentuk gambaran sampel pada lapisan tabung sinar katoda.^[17]

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil sintesis Nanopartikel ZnO *Undoped* dan *Doped* Cu²⁺

a. Proses pembentukan sol Zn(OH)₂ Nanopartikel ZnO *undoped* dan ZnO *doped* Cu²⁺

disintesis dengan menggunakan prekursor Zn(CH₃COO)₂·2H₂O dan Cu(CH₃COO)₂·H₂O. Sol Zn(OH)₂ dibuat dengan melarutkan Zn(CH₃COO)₂·2H₂O dalam 50 mL isopropanol menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Pada saat pengadukan terjadi gaya sentrifugal. Gaya inilah yang menyebabkan atom-atom terdistribusi secara homogen. Atom-atom Zn adalah jenis atom yang reaktif terhadap oksigen, sehingga pada saat pengadukan, atom-atom Zn mengikat oksigen menjadi molekul oksida. Terbentuknya oksida ini adalah awal mula terjadinya proses nukleasi (pengintian) di seluruh titik secara



merata, sehingga terbentuk ukuran partikel yang hampir seragam.^[18]

Lalu dilanjutkan dengan penambahan MEA 1,4 mL yang berfungsi sebagai zat aditif menghasilkan sol yang stabil dan homogen dan diaduk selama 90

menit sehingga menghasilkan sol $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

Nanopartikel ZnO disintesis dengan penambahan dopan Cu^{2+} sehingga menghasilkan sol $\text{Zn}(\text{OH})_2$ dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Hasil Pengamatan sol $\text{Zn}(\text{OH})_2$ undoped dan doped Cu^{2+} 3%


Uraian Sampel	Hasil pengamatan	Foto pengamatan
ZnO <i>Undoped</i>	Zink (II) asetat dalam 50 mL isopropanol mudah larut apabila dilarutkan menggunakan magnetik stirrer sehingga menghasilkan larutan berwarna putih, dilanjutkan dengan penambahan MEA sebanyak 1,4 mL larutan menjadi warna bening.	
ZnO doped Cu^{2+} 3%	Larutan zink (II) asetat yang berwarna putih ditambahkan dopan 3% $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, larutan berubah menjadi warna biru toska, dilanjutkan dengan penambahan MEA sebanyak 1,4 mL larutan menjadi warna biru pekat.	



Pengeringan Sol ZnO *Undoped* dan *Doped* Cu^{2+}

Sol selanjutnya dikeringkan pada suhu 100-110°C selama 1 jam. Tujuan

Tabel 2. Hasil pengamatan secara visual pengeringan sol

pengeringan sol adalah untuk menguapkan pelarut. Hasil pengeringan sol dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Uraian Sampel	Hasil pengamatan	Foto pengamatan
ZnO <i>Undoped</i>	Sol $\text{Zn}(\text{OH})_2$ berwarna bening menghasilkan gel berwarna putih, membutuhkan waktu 1 jam.	

ZnO <i>doped</i> Cu ²⁺ 3%	Sol Zn(OH) ₂ berwarna biru pekat menghasilkan gel berwarna hijau tua +, membutuhkan waktu 1 jam 20 menit.		
--------------------------------------	--	---	---


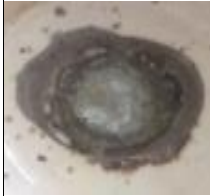
Berdasarkan Tabel 2, variasi penambahan dopan menghasilkan gel berwarna hijau tua dengan hampir semua pelarut menguap, hal ini disebabkan karena tujuan dari pemanasan pada suhu 110 adalah menguapkan pelarut.

c. Kalsinasi Gel ZnO *Undoped* dan *Doped* Cu²⁺

Gel yang dihasilkan setelah proses pengeringan menggunakan oven,

selanjutnya dikalsinasi menggunakan furnace. Kalsinasi dilakukan pada suhu 500°C selama 2 jam. Proses kalsinasi bertujuan untuk mendapatkan *powder* nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺. Hasil pengamatan secara visual *powder* ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ yang dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam dapat dilihat pada Tabel 3. berikut.

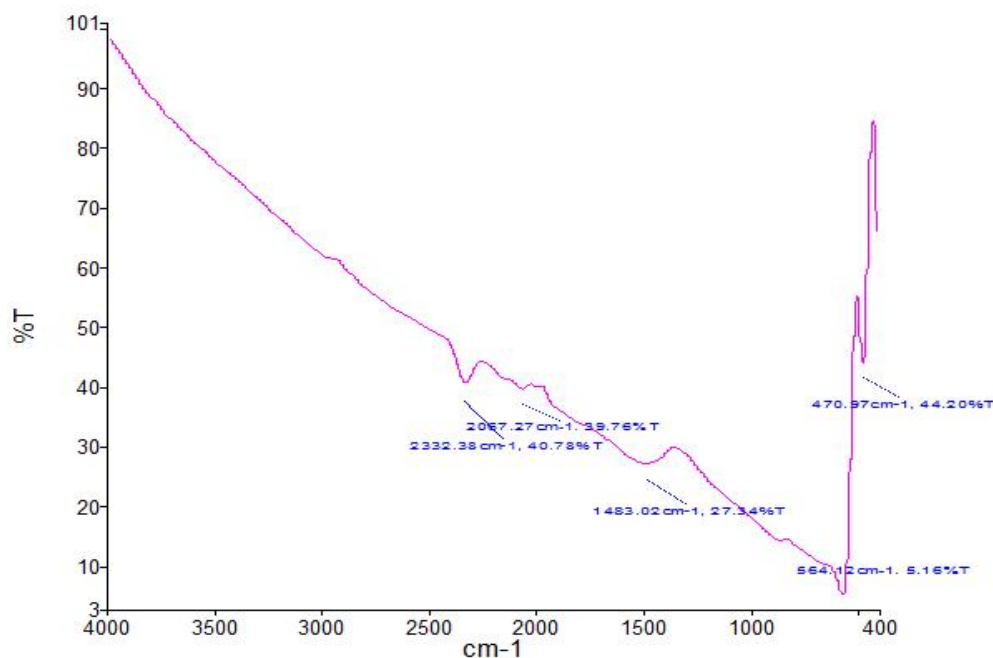
Tabel 3. Hasil pengamatan kalsinasi nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ pada suhu 500°C.

erlakukan Sampel	Hasil pengamatan	Foto pengamatan
ZnO <i>Undoped</i>	ZnO <i>undoped</i> berwarna abu-abu terang dan halus	
ZnO <i>doped</i> Cu ²⁺ 3%	ZnO <i>doped</i> Cu ²⁺ 3% berwarna abu-abu gelap dan halus (++)	

2. Karakterisasi Nanopartikel ZnO *Undoped* dan ZnO *Doped* Cu²⁺

a. Analisis Spektra FTIR Nanopartikel ZnO *Undoped*, CuO murni dan *Doped* Cu²⁺

Karakterisasi nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ bertujuan untuk menganalisis pita-pita absorpsi dari vibrasi gugus-gugus fungsi nanopartikel ZnO.^[19] Hasil pengukuran FTIR untuk daerah 400-1000 cm⁻¹ untuk ZnO *undoped*, CuO murni dan kedua sampel ZnO yang didop Cu²⁺, diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR ZnO doped Cu 3%.

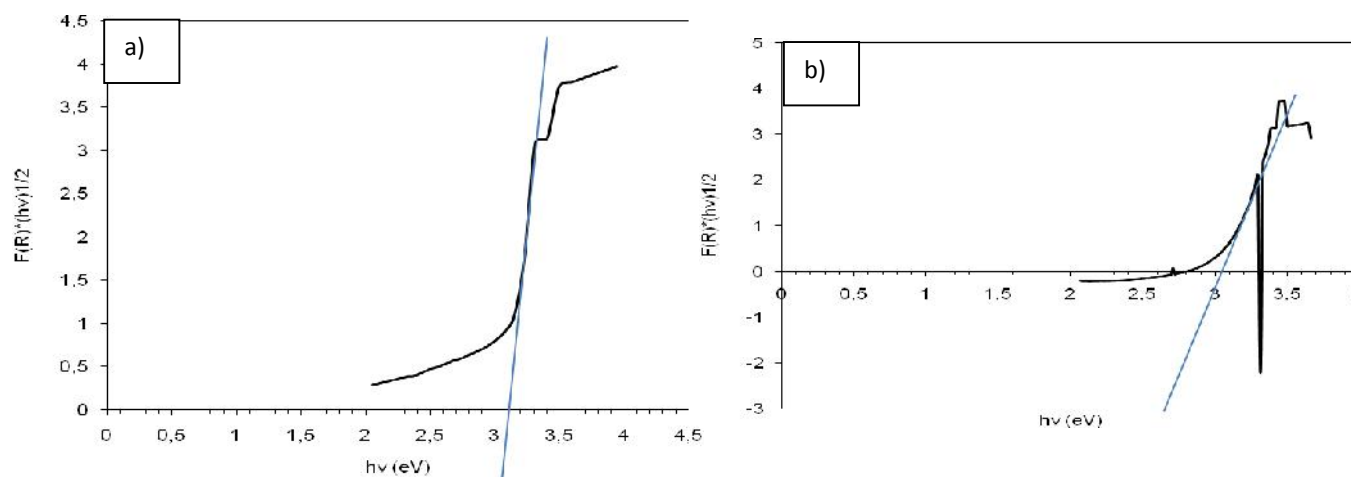
Gambar 1 tersebut memperlihatkan puncak absorpsi yakni disekitar 400-600 cm^{-1} . Puncak absorpsi disekitar 400-600 cm^{-1} menunjukkan puncak absorpsi dari ZnO, dan Zn-O-Cu. Pada rentang bilangan gelombang 400-600 nm merupakan daerah serapan vibrasi ulur oksida logam.^[26]

Beberapa peneliti menyatakan absorpsi di daerah tersebut merupakan mode vibrasi *stretching* Zn-O pada sampel ZnO doped Cu^{2+} , seperti Makkar dkk. (2011)^[27] mendapatkan mode vibrasi tersebut disekitar 460 cm^{-1} , sedangkan Hammedani dkk. (2006)^[28] mendapatkannya disekitar 500 cm^{-1} dan data referensi FTIR (1984)^[29] menyatakan bahwa absorpsi disekitar 406 cm^{-1} dan 512 cm^{-1} merupakan vibrasi *stretching* ZnO untuk ZnO berbentuk *powder*. Fernandes dkk. (2009)^[30] mendapatkan ikatan antara Zn-O-Cu di daerah 480-588 cm^{-1} .

b. Analisis *Band Gap* ZnO Undoped dan ZnO doped Cu^{2+} Analisis *band gap* dilakukan menggunakan UV-DRS

Untuk menentukan nilai *band gap*. *Band gap* merupakan celah antara pita valensi

yang penuh elektron dengan pita konduksi yang kosong elektron. Nilai *band gap* pada semikonduktor sangat penting karena berpengaruh terhadap kinerja semikonduktor dalam mengalirkan elektron dan *hole*.^[31]



Gambar 2. Grafik nilai *band gap* (a) ZnO *undoped*, dan (b) ZnO *doped* Cu²⁺ 3%, dengan menggunakan UV-DRS.

Nilai *band gap* dari semikonduktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk. Nilai *band gap* dari ZnO *undoped* dan ZnO *doped* Cu²⁺ dihitung dari spektra reflaktan berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai *band gap* ZnO *undoped* dan ZnO *doped* Cu²⁺

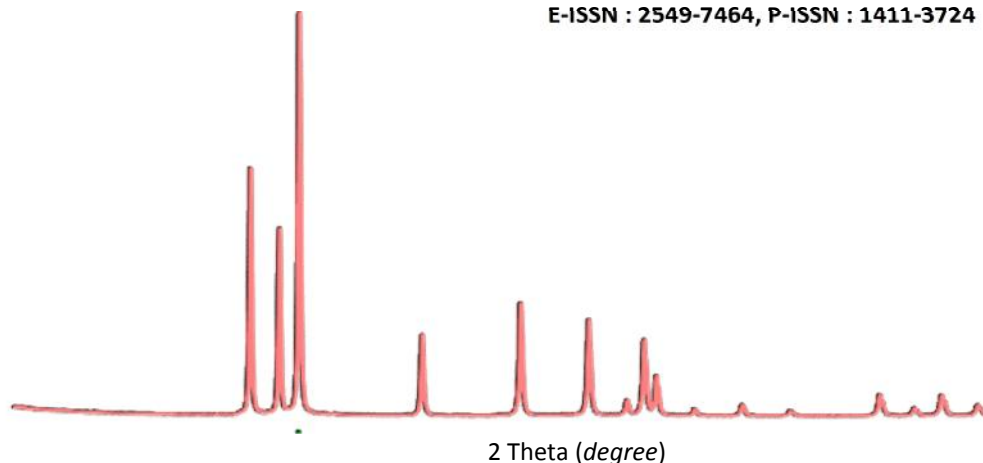
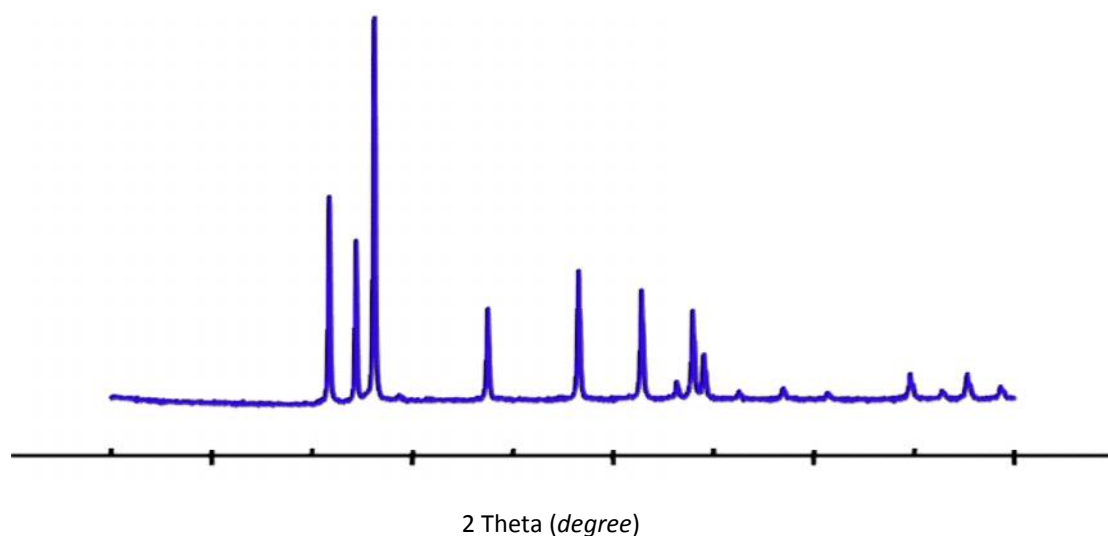
Sampel	Nilai <i>band gap</i> (eV)
ZnO <i>undoped</i>	3,1 eV
ZnO <i>doped</i> Cu ²⁺ 3%	3,00 eV

Dari nilai *band gap* yang diperoleh pada Tabel 4 ZnO *undoped* lebih besar dibandingkan ZnO *doped* Cu²⁺ yang diperoleh pada penelitian ini. Reddy dkk. (2011)^[32] mendapatkan nilai energi *band gap* dari nanopartikel ZnO *undoped* (3,28 eV) yang lebih tinggi dari ZnO *doped* Cu²⁺ (3,04 eV). Chauhan dkk.(2010)^[33] juga memperoleh nilai *band gap* nanopartikel ZnO tanpa dopan (3,15 eV) lebih tinggi dari ZnO *doped* Cu²⁺ (2,92 eV) yang dibuat dengan teknik kopresipitasi.

Menurut Reddy dkk. (2011)^[32] pergeseran energi *band gap* dari nilai yang tinggi ke nilai yang lebih rendah mendukung pernyataan terjadinya substitusi ion Cu²⁺ menggantikan ion Zn²⁺ pada kisi dengan peningkatan persen Cu.

c. Analisis Pola Difraksi Nanopartikel ZnO *Undoped* dan *Doped* Cu²⁺

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mendapatkan struktur nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ yang digunakan. Sampel yang dikarakterisasi menggunakan XRD adalah *powder* ZnO *undoped* dan *doped* Cu 3%. Hasil karakterisasi secara keseluruhan dapat dipelajari dari difraktogram. Pola difraksi ZnO *doped* Cu²⁺ dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3 Difraktogram (a) ZnO *undoped*,Gambar 4 ZnO *doped* Cu²⁺ 3%.

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 pada ZnO *undoped* terbentuk fase tunggal ZnO dengan struktur kristal heksagonal *wurtzite* sedangkan pada ZnO *doped* Cu²⁺ selain fase ZnO juga hadir fase kedua CuO. Berdasarkan penelitian dari Reddy dkk. (2011)^[32], Sharma dkk. (2009)^[34] untuk konsentrasi dopan kurang dari 8%, Liu dkk. (2009)^[35] dan Kanade dkk. (2007)^[36] untuk konsentrasi Cu²⁺ sampai 4 % diperoleh fase tunggal dari nanopartikel ZnO *doped* Cu²⁺ dengan menggunakan teknik sintesis dan pelarut

yang berbeda. Ion Cu²⁺ diperkirakan mensubstitusi posisi Zn tanpa mengubah struktur *wurtzite*. Chauhan dkk. (2010) menyatakan Bahawa ion Cu²⁺ cenderung menempati posisi Zn pada kisi dibandingkan posisi interstisial.

Hasil perhitungan ukuran partikel berdasarkan spektra XRD nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu²⁺ dapat dilihat Tabel 3.5-3.6. berikut.

Tabel 5 Analisis data XRD sampel ZnO *undoped*

<i>Pos.[°2θ h.]</i>	<i>Height [cts]</i>	<i>FWHMLLeft [°2θh.]</i>	<i>d-spacing [Å]</i>	<i>Rel. Int. [%]</i>	Ukuran kristal (nm)
31.7970	15020,63	0,2165	2,81431	61.44	37.74
34.4512	11259,13	0,2165	2,60333	46.05	38.00
36.2758	24447,59	0,2165	2,47646	100.00	38.19
47.5666	4889,63	0,1968	1,91167	20.00	43.63
56.7830	4430,64	0,12	1,62402	18.12	74.43
62.8621	5681,49	0,216	1,47716	23.24	42.63

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa ZnO *undoped* mempunyai ukuran partikel berkisar antara 38-74 nm. Dari tabel dapat dilihat bahwa ZnO *undoped* merupakan material nanopartikel.

Tabel 6 Analisis data ZnO *doped* Cu²⁺ 3%.

<i>Pos.[°2θh.]</i>	<i>Height [cts]</i>	<i>FWHMLLeft [°2θh.]</i>	<i>d-spacing [Å]</i>	<i>Rel. Int. [%]</i>	Ukuran kristal (nm)
31.7333	12607.74	0.1535	2.81982	57.71	53.21
34.3844	9916.26	0.1791	2.60823	45.39	45.92
36.2088	21845.96	0.1791	2.48090	100.00	46.15
47.4990	4521.76	0.1248	1.91265	20.70	68.78
56.5524	6326.34	0.0936	1.62606	28.96	95.32
62.8172	5390.98	0.0936	1.47811	24.68	98.38
67.9104	4293.25	0.0936	1.37912	19.65	101.20

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan ukuran partikel dari ZnO *doped* Cu²⁺ 3% . Hasil menunjukkan ZnO *doped* Cu²⁺ 3% memiliki ukuran partikel 45-102 nm. Nilai ukuran partikel

ZnO *doped* Cu²⁺ dari kedua sampel menunjukkan semakin besar konsentrasi maka ukuran partikel semakin besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan :

1. Analisa spektra FTIR menunjukkan terdapatnya ikatan ZnO untuk ZnO *undoped* pada bilangan gelombang 475-575 cm^{-1} , dan ikatan ZnO dalam ZnO *doped* Cu^{2+} pada daerah bilangan gelombang 470 cm^{-1} , dan ikatan Zn-O-Cu pada daerah bilangan gelombang 564 cm^{-1} .
2. ZnO *undoped* menghasilkan nilai band gap yang lebih besar dibandingkan ZnO dengan penambahan konsentrasi dopan Cu dengan variasi yang berbeda terhadap nanopartikel yang disintesis yaitu ZnO (3,1 eV), dan ZnO *doped* Cu^{2+} 3% (3,00 eV)
3. Struktur nanopartikel ZnO *undoped* dan *doped* Cu^{2+} adalah hexagonal wurtzite dengan ukuran partikel ZnO *undoped* berkisar antara 38-74 nm, dan ZnO *doped* Cu^{2+} 1% berkisar antara 45-101 nm yang diperoleh dari XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Hosokawa, M. Nogi, K. Naito, M. Yokoyama, T. 2007. Nanoparticle Technology Handbook, 1st edition. Elsevier. UK.
- Ozgur, U., Alivov, Ya. I., Liu, C, Teke, A., Reshchikov, M. A, Dogan, S., Avrutin, V., Cho, S. J. 2005. "A comprehensive review of ZnO materials and devices". Journal of Applied Physics.
- Singhal, Sonal., Kaur, Japinder., Namgyal, Tsering., Sharma, Rimi., 2012. Cu-doped ZnO nanoparticles: Synthesis, structural and electrical properties. Department of Chemistry, Panjab University, Chandigarh 160014, India.
- Jagadish, C. dan Pearton, S. 2006. Zinc Oxide Bulk, Thin Film and Nanostructures. Elsevier.
- Mitayani, Maulida. 2013. Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis Cds Doping Zn Yang Ditumbuhkan Dengan Dc Magnetron Sputtering. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Zhang, L., Ye, Z., Huang, J., Lu, B., He, H., Lu, J., 2011. Fabrication and Properties of P-Type K Doped Zn1-Xmgxo Thin Film. Journal of Alloys and Compounds. Vol.509, hal 7405-740.
- Janotti, A. dan Walle, C.G.V.d. 2009. Fundamental of Zinc Oxide as a Semiconductor. Rep. Prog. Phys. Vol.126501, hal 29.
- Choi, S.-M., Lee, K.-H., Lim, C.-H. dan Seo, W.-S. 2011. Oxide-Based Thermoelectric Power Generation Module Using P-Type $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ and N-Type $(\text{ZnO})_7\text{In}_2\text{O}_3$ Legs. Energy Conversion and Management., Vol.52, hal 335-339.
- Yumanto. 2013. Deposisi Lapisan Tipis ZnO Sebagai Lapisan Tipis Tipe-N Dan Jendela Sel Surya. Seminar
- Akselator Dan Proses Bahan BATAN, Jakarta.
- Labhane P.K., Huse V.R., Patle L.B., Chaudari A.L., Sonawane G.H. 2015. Synthesis of Cu Doped ZnO Nanoparticles: Crystallographic, Optical, FTIR, Morphological and Photocatalytic Study. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 39-51

Published Online July 2015 in SciRes.
<http://dx.doi.org/10.4236/msce.2015.37005>

Liu, Lian Hui., Jing Hai Yang., Zhong Hua., Yong Jun Zhang., Yang Liu., Jian Cao., Lian Hua Fei., Xin Cheng. 2012. Effects of different sintering atmosphere on the structure and properties of Cu-doped ZnO powders prepared by sol-gel method. *J Mater Sci: Mater Electron* 23:832–836. DOI 10.1007/s10854-011-0502-y

Xu,C., Kim,M., Chun,J., Kim,D. (2005). "Growth of Ga-doped ZnO nanowires by two-step vapor phase method". *Applied physics letters* 86, 133107.

Fernandez, B. R. 2012. Sintesis Nanopartikel SiO₂ Menggunakan Metoda Sol-gel Dan Aplikasinya Terhadap Aktivitas Sitotoksik Sel Dalam Review Jurnal Nanoteknologi. Review Jurnal Nanoteknologi. Padang: Jurusan Kimia, Program Pascasarjana Universitas Andalas.

Sookman, C., Paisan, K, & Waraporn, T. 2005. The Effect of Calcined Temperature On The Property Of Nickel Oxide Catalyst Synthesized By Sol-Gel Method. *International Symposium Eco-Energy and Material Science And Engineering Symposium*. Chiangmai, Thailand.

M. Abdullah & Khairurijal. 2010. Karakterisasi Nanomaterial Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data. Bandung: CV. Rezeki Putera Bandung.

Mergoramadhayenty M, 2011. Karakteristik Struktur, Optik dan Magnetik Nanopartikel ZnO didop Cu yang Disintesis dengan Teknik

Kopresipitasi. Depok : Universitas Indonesia

Ningsih, S K W. 2016. Sintesis Anorganik. Padang : UNP Press

Rosyidah, Nurul., Purwaningsih Sri Yani, Darminto. 2009. Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopreipitasi. FMIPA, ITS.

Puspitasari, Paramita. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Organoclay Bentonit Tasikmalaya Terinterkalasi dengan Surfaktan Non-Ionik Triton X-100: Varasi Kation Penyeimbang. Skripsi. Depok : FMIPA Universitas Indonesia.

Nakamoto, k. 1997. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. 5th Edition, John ang Sons, Inc. Canada Nasikin.

M. Makkar, H.S Bhatti. 2011. Inquisition of reaction parameters on the growth and optical properties of ZnO nanoparticles synthesized via low temperature reaction route. in press; doi: 10.1016/j.cplett.2011.03.056

N.F. Hamedani, dkk. 2006. "Synthesis of ZnO Nanocrystals with Hexagonal (Wurtzite) Structure in Water Using Microwave Irradiation" . *J. Sci. IR Iran* 17-231

Sadtler Research Laboratories (Ed.). 1984. *The Infrared Spectra Handbook of Inorganic Compounds*. Heyden & Son Ltd. London.

Fernandes D.M., Silva R., Hechenleitner A.A.W., Radovanovic E., Melo M.A.C., Pineda E.A.G., 2009.

- “Synthesis and characterization of ZnO, CuO and a mixed Zn and Cu oxide”. *Mater. Chem. Phys.* 115, 110-115.
- Lestari, Diah. 2011. *Preparasi Nanokomposit ZnO/TiO₂ dengan Metode Sonokimia serta Uji Aktivitasnya untuk Fotodegradasi Fenol*. Skripsi Fakultas Matematik dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang.
- Reddy A.J., M.K Kokila, H. Nagabhushana. 2011.
- “Structural, optical and EPR studies on ZnO: Cu nanopowders prepared via low temperature solution combustion synthesis”. *J. Alloys Compd.* 509-5349
- R. Chauhan, A. Kumar, R.P. Chaudharya. 2010.
- “Synthesis and characterization of copper doped ZnO nanoparticles”. *J. Chem. Pharm. Res.* 2 (4) 178-183.
- P.K. Sharma, R.K. Dutta, A.C. Pandey. 2009. “Doping dependent room-temperature ferromagnetism and structural properties of dilute magnetic semiconductor ZnO: Cu²⁺ nanorods”. *J. Magn. Magn. Mater.* 321-4001.
- H-L. Liu, J-H Yang, H. Zhong, Z. Yongjun, Y. Lili, Li
- Xiao, Zhi Xie. 2009. “The Structure and Magnetic Properties of Cu-doped ZnO Prepared by Sol-gel Method”. *Chem. Res. Chinese Universities.* 25(4)-430.
- K.G. Kanade, B.B. Kale J-O Baeg, S-M. Lee, C-W Lee, S-J Moon, H-J Chang. 2007. “Self-assembled aligned Cu doped ZnO nanoparticles for photocatalytic hydrogen production under visible light irradiation”. *Mater. Chem. Phys.* 102. Hal. 98-104
- I.N. Frantsevich, R.F Foitovic, N.A Lavrenko. 1963. *High-temperature Oxidation of Metals and Alloys*. Gostekhizdat TLU, Kiev, p.19.
- I.N. Frantsevich, R.F Foitovic, N.A Lavrenko. 1963.
- Yulianti, Cicik Herlina. 2012. “Sintesis Dan Karakterisasi Kristal Nano ZnO”. *Jurnal Teknik* Vol. 4 No. 2 September 2012.